

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-204280

(43) 公開日 平成11年(1999) 7月30日

(51) IntCl<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 5 B 41/24

H 0 5 B 41/24

M

H 0 1 J 65/00

H 0 1 J 65/00

A

審査請求 未請求 請求項の数 3 F D (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平10-13540

(22) 出願日 平成10年(1998) 1月9日

(71) 出願人 000102212

ウシオ電機株式会社

東京都千代田区大手町2丁目6番1号 朝

日東海ビル19階

(72) 発明者 岡本 昌士

兵庫県姫路市別所町佐土1194番地 ウシオ

電機株式会社内

(72) 発明者 廣瀬 賢一

兵庫県姫路市別所町佐土1194番地 ウシオ

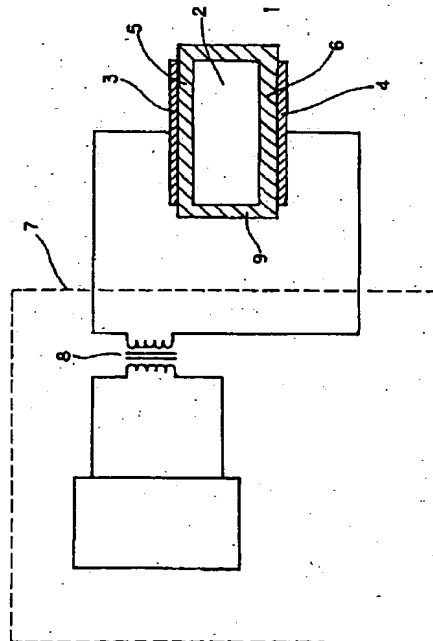
電機株式会社内

(54) 【発明の名称】 誘電体バリア放電ランプ光源装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 小出力インピーダンス給電装置により誘電体バリア放電ランプの全壁面均一放電させる際、ランプ印加電圧を放電最小エネルギーより高くしても、エキシマ発光効率劣化が許容可能な程度とする。

【解決手段】 エキシマ空間2を有する誘電体バリア放電ランプ1と、高電圧給電装置7とから成る光源装置において、昇圧トランス8を介し、概略周期的波形の高電圧を放電極3、4に印加する際、ランプの放電開始時点Kの印加電圧V<sub>k</sub>、K点放電の1つ前に起こる放電の終了時の印加電圧V<sub>f</sub>、点Kから印加電圧極性が変化する点迄の期間内の極大点U5の印加電圧V<sub>h</sub>、点Kから点U5の期間内で絶対値が最小電圧となる点U4での印加電圧をV<sub>b</sub>とすれば、V<sub>k</sub>とV<sub>f</sub>の差の絶対値V<sub>x</sub>と、V<sub>h</sub>とV<sub>b</sub>の差の絶対値V<sub>y</sub>の間の関係がV<sub>y</sub>/V<sub>x</sub> ≤ 1.0となる様にする。



Applicant: Masami Kobayashi  
 Title: Discharge Lamp Starting Device and  
 Illumination Apparatus  
 U.S. Serial No. not yet known  
 Filed: October 23, 2003  
 Exhibit 1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】誘電体バリア放電によってエキシマ分子を生成する放電用ガスが充填された放電プラズマ空間

(2)があって、この放電用ガスに放電現象を誘起せしめるための両極の電極(3、4)のうちの少なくとも一方と前記放電用ガスの間に誘電体(5、6)が介在する構造を有する誘電体バリア放電ランプ(1)と、前記誘電体バリア放電ランプの前記電極(3、4)に高電圧を印加するための給電装置(7)とを有する誘電体バリア放電ランプ光源装置において、前記給電装置(7)が昇圧トランス(8)を介して前記誘電体バリア放電ランプ(1)に概略周期的な波形の高電圧を印加するものであって、ランプ印加電圧波形の放電開始時に対応する点(K)に注目したとき、前記ランプ印加電圧波形の放電開始時に\*

$$V_y/V_x \leq 1.0$$

を満足することを特徴とする誘電体バリア放電ランプ光源装置。

【請求項2】前記ランプ印加電圧波形の放電開始時に対応する点(K)の電圧 $V_k$ として、電圧の立上りまたは立下り部のランプ印加電圧波形に現れる、屈曲点の電圧を適用したことを特徴とする請求項1に記載する誘電体バリア放電ランプ光源装置。

【請求項3】前記誘電体(5、6)の放電プラズマ空間(2)側の面には、その少なくとも一部に蛍光体が塗布されていることを特徴とする請求項1に記載する誘電体バリア放電ランプ光源装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、例えば、光化学反応用の紫外線光源として使用される放電ランプの一種で、誘電体バリア放電によってエキシマ分子を形成し、前記エキシマ分子から放射される光を利用するいわゆる誘電体バリア放電ランプを含む光源装置に関する。

【0002】

【従来の技術】この発明に関連した技術としては、誘電体バリア放電ランプについては、例えば、日本国公開特許公報平2-7353号があり、そこには、放電容器にエキシマ分子を形成する放電用ガスを充填し、誘電体バリア放電(別名オゾナイザ放電あるいは無声放電。電気学会発行改定新版「放電ハンドブック」平成1年6月再版7刷発行第263ページ参照)によってエキシマ分子を形成せしめ、前記エキシマ分子から放射される光を取り出す放射器が記載されている。

【0003】誘電体バリア放電ランプには、放電プラズマ空間を挟んで電極の間に、1枚または2枚の誘電体が存在する。図1は、2枚の誘電体5、6が存在する誘電体バリア放電ランプ1を表している。因みに、第1図ではランプ封体9が、誘電体5、6を兼ねている。

【0004】誘電体バリア放電ランプ1を点灯させる際

\*対応する点(K)の電圧 $V_k$ と、

前記ランプ印加電圧波形の放電開始時に対応する点

(K)が属する放電より一つ前の放電についての放電終了時のランプ印加電圧 $V_f$ と、前記ランプ印加電圧波形の放電開始時に対応する点(K)を通過時点から次にランプ印加電圧の極性に変化するまでの期間内でランプ印加電圧の絶対値の極大を示す点(U5)におけるランプ印加電圧 $V_h$ と、前記ランプ印加電圧波形の放電開始時に対応する点(K)から前記ランプ印加電圧の絶対値の極大を示す点(U5)に至る閉区間のなかで絶対値が最小となるランプ印加電圧波形上の点(U4)におけるランプ印加電圧 $V_b$ とについて、

前記 $V_k$ と $V_f$ の差 $V_k - V_f$ の絶対値 $V_x$ と、

前記 $V_h$ と $V_b$ の差 $V_h - V_b$ の絶対値 $V_y$ との関係に関して、次の条件、

(式1)

は、その両極の電極3、4に、例えば、10kHz～200kHz、2kV～10kVの高周波の交流電圧が印加される。ところが放電プラズマ空間2と電極3、4の間に介在する誘電体5、6のため、電極3、4から放電プラズマ空間2に直接に電流が流れるのではなく、誘電体5、6がコンデンサの働きをすることによって電流が流れる。すなわち、各誘電体5、6の放電プラズマ空間2側の面には、各電極3、4側の面と等量逆符号の電荷が誘電体の分極により誘起され、放電プラズマ空間2を挟んで対向する誘電体5、6の面の間で放電する。

【0005】誘電体5、6の放電プラズマ空間2側の面に沿っては電流があまり流れないため、放電が生じた部分では、誘電体5、6の放電プラズマ空間2側の面に誘起された電荷は、放電により移動した電荷により中和され、放電プラズマ空間2の電界が減少するため、電極3、4への電圧印加が継続されていても、放電電流はやがて停止してしまう。ただし、電極3、4への印加電圧がさらに上昇する場合は、放電電流は持続する。

【0006】1度放電が生じた後、放電が停止した場合は、電極3、4に印加される電圧の極性が反転するまで、再放電しない。

【0007】例えばキセノンガスを封入した誘電体バリア放電ランプの場合、キセノンガスは、放電によりイオンと電子に分離し、キセノンプラズマとなる。このプラズマ中で、特定のエネルギー準位に励起されたキセノンが結合し、エキシマ分子が形成される。キセノンエキシマは、ある寿命時間を経過すると解離してしまうが、このときに開放されるエネルギーが真空紫外波長の光子として放出される。誘電体バリア放電ランプが真空紫外光源として効率的に動作させるためには、このエキシマ分子形成を効率的にする必要がある。

【0008】ここで、放電時に効率的なエキシマ分子形成を阻害する大きな要因は、放電プラズマをエキシマ分子形成に寄与しないエネルギー準位へ励起してしまうと

とである。

【0009】放電開始直後の放電プラズマの電子運動は集団的であり、エネルギーは高いが温度は低い状態にある。この状態では、放電プラズマは、エキシマ分子を形成するために必要な、共鳴状態に移移する確率が高い。しかし放電時間が長くなると、プラズマの電子運動は次第に熱的、すなわち、マックスウェル-ボルツマン分布と呼ばれる熱平衡状態になり、プラズマ温度が上昇し、エキシマ分子を形成できないような、より高い励起状態に移移する確率が上昇してしまう。

【0010】さらに、エキシマ分子が形成された場合でも、寿命時間の経過を待って所期の光子を放出して自然に解離する前に、後続の放電により、エキシマ分子が破壊される場合もある。実際、キセノンエキシマの例では、放電開始から真空紫外波長の光子放出まで、 $1\mu s$ 程度の期間を要し、この期間内の後続の放電や再放電は、エキシマ発光の効率を低下させる。

【0011】すなわち、一度放電が開始したならば、後続する放電のエネルギーはできるだけ小さくすることが最も重要であることがわかる。

【0012】放電時間が短い場合であっても、その放電期間に注入されるエネルギーが大きすぎると、同様に高い励起状態に移移する確率が上昇してしまう。高い励起状態に移移したプラズマは、赤外線を放射して緩和し、ランプの温度を上昇させるだけで、エキシマ発光に寄与しない。

【0013】すなわち、エキシマ分子形成に寄与しないエネルギー単位への放電プラズマの励起を抑制するような放電駆動を行わなければならないのである。この点で、従来の誘電体バリア放電ランプ光源装置は満足できるものではなかった。

【0014】誘電体バリア放電を含む、全てのパルス放電によるエキシマ発光の高効率化を達成しようとする提案として、特開平1-243363があり、これは、一度放電が開始したならば、後続する放電のエネルギーはできるだけ小さくすること、という前記の条件に沿うものである。しかし、この提案に記載されているものは、どのようなパラメータを調整すればエキシマ発光が高効率化できるか、についてであって、そのパラメータ値の効果的な条件については、具体的には何ら示されていない。とりわけ、誘電体バリア放電の場合は、放電プラズマ空間への電圧印加や電流注入は誘電体を介して行わなければならないため、この電圧や電流の制御の自由度が低く、最適条件を見出すことは非常に困難である。

【0015】誘電体バリア放電ランプの効率を改善しようとする提案として、例えば、特表平8-508363がある。しかし、この提案においては、前記のエキシマ分子形成を効率的にするための、エキシマ分子形成に寄与しないエネルギー単位への放電プラズマの励起を抑制することの達成に真に効果的な、具体的な事項は何ら述

べられていない。

【0016】誘電体バリア放電を利用した蛍光灯の駆動波形に関する改善提案として、例えば、特開平6-163006号がある。これによると、正負極性の矩形パルス列や交流の矩形波で駆動することにより、蛍光灯の輝度が向上するということが述べられている。この中で、矩形パルス列や矩形波について、周波数やデューティ比に関連して、印加電圧の変化に対する輝度の変化の実験結果が記載されており、従来の正弦波駆動と比較した効率の向上の説明がなされている。しかし、現実の給電装置においては、高電圧トランスなどが含まれ、理想的な矩形パルス列や矩形波を印加することは不可能であり、給電装置の出力インピーダンスとランプのインピーダンスの相互作用により、波形は鈍化するし、また、部分的には共振により正弦波的電圧が印加されてしまう。このような現実の給電装置における、理想的な矩形的波形からのズレがあった場合に、ズレのなかの如何なる成分は有害で、どの程度のズレまで許容できるかを明確にしない限り、経済的に見合う実用的な光源装置を設計、製作することはできない。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】この発明が解決しようとする課題は、エキシマ分子を効率的に生成し、真空紫外光源として効率的に動作できる誘電体バリア放電ランプを提供することである。

【0018】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するためにこの発明に係る誘電体バリア光源装置は、誘電体バリア放電によってエキシマ分子を生成する放電用ガスが充填された放電プラズマ空間(2)があって、この放電用ガスに放電現象を誘起せしめるための両極の電極(3、4)のうちの少なくとも一方と前記放電用ガスの間に誘電体(5、6)が介在する構造を有する誘電体バリア放電ランプ(1)と、前記誘電体バリア放電ランプの前記電極(3、4)に高電圧を印加するための給電装置(7)とを有する誘電体バリア放電ランプ光源装置において、前記給電装置(7)が昇圧トランス(8)を介して前記誘電体バリア放電ランプ(1)に概略周期的な波形の高電圧を印加するものであって、ランプ印加電圧波形の放電開始時に対応する点(K)に注目したとき、前記ランプ印加電圧波形の放電開始時に対応する点(K)の電圧 $V_k$ と、前記ランプ印加電圧波形の放電開始時に対応する点(K)が属する放電より一つ前の放電についての放電終了時のランプ印加電圧 $V_f$ と、前記ランプ印加電圧波形の放電開始時に対応する点(K)を通過時点から次にランプ印加電圧の極性が変化するまでの期間内でランプ印加電圧の絶対値の極大を示す点(U5)におけるランプ印加電圧 $V_h$ と、前記ランプ印加電圧波形の放電開始時に対応する点(K)から前記ランプ印加電圧の絶対値の極大を示す点(U5)に至る閉区間のなかで

絶対値が最小となるランプ印加電圧波形上の点(U4)におけるランプ印加電圧 $V_b$ とについて、前記 $V_k$ と $V_f$ の差 $V_k - V_f$ の絶対値 $V_x$ と、前記 $V_h$ と $V_b$ の差 $V_h - V_b$ の絶対値 $V_y$ との関係に関して、 $V_y/V_x \leq 1.0$ を満足することを特徴とする。さらに、請求項2に係る誘電体バリア放電ランプ光源装置は、前記ランプ印加電圧波形の放電開始時に対応する点(K)の電圧 $V_k$ として、電圧の立上りまたは立下り部のランプ印加電圧波形に現れる、屈曲点(K)の電圧を適用したことを特徴とする。さらに、請求項3に記載する誘電体バリア放電ランプ光源装置は、誘電体のうち、放電プラズマ空間に対向する側の面には蛍光体を塗布することを特徴とする。

【0019】

【発明の実施の形態】本願発明の課題であるエキシマ分子を効率的に形成するためには、エキシマ分子の形成に寄与しないエネルギー準位への放電プラズマの励起を抑制することである。そして、このためには、ランプ印加電圧が有限の増加率で上昇し、放電開始電圧に達して放電が開始されれば、できるだけ速やかに放電を終了させればよい。

【0020】誘電体バリア放電ランプ1の電気回路的な動作は、図2に示すように、放電プラズマ空間2の放電回路は、抵抗10とスイッチ11を直列に接続したものととなる。また、誘電体バリア放電ランプ1には、電極3、4と放電プラズマ空間2の間に誘電体5、6があり、これは電気回路的にはコンデンサとして働く。ただし、誘電体が2枚の場合は、それぞれのコンデンサを直列合成した1個のコンデンサ13と考えられる。

【0021】このコンデンサが放電プラズマ空間2に対して直列に挿入された構造であるため、誘電体バリア放電ランプ1にはランプ印加電圧の極性が変化した直後のある期間内のみ放電電流が流れ、ランプ印加電圧を実質的に零とした休止期間を有するパルス電圧を印加せずとも、自然に放電の休止期間が生ずる。また、放電プラズマ空間2の電圧が放電開始電圧に達しない限り、放電は生じないため、ランプ印加電圧の立上りまたは立下り速度が急峻である必要はない。

【0022】放電プラズマ空間2自体もコンデンサ12を形成しており、放電が開始されれば、このコンデンサに充電されたエネルギーのほとんどが放電に費やされるため、給電装置7は、放電開始以降に誘電体バリア放電ランプ1に必要な電流を追加して流さないようなものとするればよいことがわかる。

【0023】次に、ランプ壁面の単位面積あたりについて考える。放電開始電圧は、ガス圧と放電ギャップの間隔が決まればほとんど自動的に決まる。また、放電プラズマ空間が形成するコンデンサ12の静電容量 $C_1$ は、放電ギャップ間隔により決まるため、1発の放電が開始してから終了するまでの期間にプラズマに与えられる最

小エネルギーは、放電プラズマ空間が形成するコンデンサ12に充電された電荷が全て放電するエネルギーであり、これはランプの構造により決まってしまう。前記のエキシマ分子形成を効率的にするための、エキシマ分子形成に寄与しないエネルギー準位への放電プラズマの励起を抑制することは、この最小エネルギーの放電の条件において、最も良く達成されることになる。

【0024】ところが、この最小エネルギーの放電の条件とは、極めて大きな出力インピーダンスを有する給電装置を用いて、ランプ印加電圧を極めてゆっくりと上昇させ、放電させることにより、原理的には実現可能である。しかし、このような給電装置は、実際の光源装置として応用する場合には問題がある。

【0025】第1の問題は、出力インピーダンスが大きいと、周期的な繰返し放電のための、高速の動作速度が得られないことである。第2の問題は、この最小エネルギーの放電の条件では、放電ギャップ間隔のランプ内の位置的不均一の影響による1個のランプ内での放電の不均一が生じることがある点である。

【0026】従って、必要な光量を実現可能なような小さい出力インピーダンスを有する給電装置を使用し、かつ、誘電体バリア放電ランプの全壁面において均一に放電を生じせしめる余裕を持たせた、実用的な光源装置とする等のために、前記最小エネルギーの放電の条件よりもランプ印加電圧を高くし、しかも、ランプ印加電圧を高にしたことによるエキシマ発光の効率低下が容認可能な範囲の条件を見出す必要がある。本発明の請求項1に記載された条件が、この実用的な条件である。

【0027】なお、前記最小エネルギーの放電の条件に関しては、放電を開始してから、放電プラズマ空間が形成するコンデンサ12に充電された電荷が全て放電する前に放電を停止させるように、ランプ印加電圧波形を操作することにより、放電エネルギーを前記最小エネルギーよりも小さくすることは可能である。しかし、この方法では、技術的な難度が高い割に効果は薄い。

【0028】実用的な給電装置における、ランプ印加電圧 $E(t)$ 波形、および放電プラズマ空間2の電圧、すなわち放電ギャップ電圧 $V_1(t)$ の波形、放電電流 $I_d(t)$ の典型的な波形を図3に示す。屈曲点Kに対し、これが属する放電より一つ前の放電についての放電電流波形J1が終了する点J2においては、放電ギャップ電圧は放電維持電圧程度となっており、点G1に示すように、近似的にはこれはほとんど0Vと見なして良い。また、放電電流が停止する点J2に対応するランプ印加電圧波形上の点U2は、その絶対値の極大点U1、またはそれを少し過ぎたあたりに存在する。実際の光源装置に対する評価においては、点U2は前記絶対値の極大点U1に存在するものとできる。

【0029】点U2以降、屈曲点Kまでのランプ印加電圧波形の変化は、 $C_2/(C_1 + C_2)$ 倍に縮小されて、

放電ギャップ電圧波形にそのまま現れる。ここで、C1とC2は、放電プラズマ空間2のコンデンサ12の静電容量C1と、誘電体5、6のコンデンサ13の静電容量C2である。電極3、4の両方に誘電体5、6が存在する誘電体バリア放電ランプの場合は、C2は、それぞれの誘電体の単独の静電容量が直列合成されたものと考えられる。

【0030】傾斜線U3のようにランプ印加電圧の極性が急変すると、放電ギャップ電圧も傾斜線G2のように急変し、これが放電開始電圧に達した点G3で放電が開始する。

【0031】放電が開始すると、放電電流波形J3が急激に現われ、その結果放電ギャップ電圧は傾斜線G4のように急激に低下し、点G3は頂点となる。

【0032】ここで、実用的な給電装置において、ランプ印加電圧に図3のような屈曲点Kが生ずる理由は次の通りである。傾斜線G4のように、放電ギャップ電圧すなわち放電プラズマ空間の電圧の急激な低下分に応じ、ランプ印加電圧も低下しようとする。このランプ印加電圧低下分は給電装置7が補償しようとするが、昇圧トランス8の磁束漏洩やケーブルのインダクタンスに起因する、誘導性の出力インピーダンスが存在するため、ランプ印加電圧低下分の補償が遅れ、その結果として、絶対値の大きい方向に凸の屈曲点Kが生ずる。また、この誘導性の出力インピーダンスと誘電体バリア放電ランプ1の静電容量との共振により、屈曲点Kの後にランプ印加電圧に対する振動成分が混入する。

【0033】その結果、ランプ印加電圧波形上に絶対値の極小点U4や絶対値の極大点U5が生じることがある。この成分に対応して、図3に示すように、放電電流波形J3には、最初の急峻な立上り後の減衰の途中に盛上がり部J4が発生することが多い。本発明のねらいは、この振動成分を利用して、誘電体バリア放電ランプに必要な電力を投入し、なおかつ紫外線発光効率を低下させないようにすることにある。

【0034】点G5のように、放電ギャップ電圧が0V近くまで低下すると、放電電流波形J3は点J5のように終了する。また、このときのランプ印加電圧波形上の点U6は、概ねランプ印加電圧波形の絶対値の極大点U5付近に存在する。実際の光源装置に対する評価におい

$$W1 = (1/2) \cdot (C2^2) / ((C1 + C2) \cdot (V_k - V_f)^2) \quad (式5)$$

ここで、 $(V_k - V_f)$ の差の絶対値を $V_x$ とする。

【0039】図4において、ランプ印加電圧が平坦領域M4の最終状態では、(式4)より放電ギャップ電圧は0、また誘電体の電圧は $V_k$ である。放電電流波形J3の減衰の途中から発生する盛上がり部J4およびそれ以降の期間に放電プラズマに与えられるエネルギーに対応して、この状態から電圧 $V_h$ を有する平坦領域M5の状

$$W2 = (1/2) \cdot (C2^2) / ((C1 + C2) \cdot (V_h - V_k)^2) \quad (式7)$$

【0041】ここで、図3のランプ印加電圧波形のよう

\*では、点U6は前記絶対値の極大点U5に存在するものとして良い。

【0035】ここで、本発明の請求項1に記載の条件の物理的意味を明確にするために、図3のランプ印加電圧の実的な波形をモデル化した図4を用いて、定量的な放電現象の解析を試みる。

【0036】図4の平坦領域M2は、図3の、前回の放電が終了した時点のランプ印加電圧波形上の点U2、すなわち点U1における、ランプ印加電圧が $V_f$ である状態に対応する。図4の傾斜線M3は、図3の、ランプ印加電圧の立上り部傾斜線U3に対応する。図4の点M1は、図3の屈曲点Kに対応する。図4の平坦領域M4は、図3の屈曲点K通過後から絶対値の極小点U4に至る部分を近似し、その電圧は $V_k$ に等しいとする。図4の平坦領域M5は、図3の絶対値の極大点U5に対応し、その電圧は $V_h$ に等しいとする。

【0037】図4において、ランプ印加電圧が平坦領域M2の状態では、放電ギャップ電圧は0Vである。この状態から点M1に至るまでのランプ印加電圧の変化は、 $(V_k - V_f)$ であり、これに伴い放電ギャップ電圧は、0から $V_g$ に変化する。ここで、 $V_g = C2 / ((C1 + C2) \cdot (V_k - V_f))$  (式2) 放電電流波形J3における最初の急峻な立上りに続く減衰期間に放電プラズマに与えられるエネルギーに対応して、点M1において放電が開始したとき、放電プラズマに与えられるエネルギー $W1$ を求めたい。

【0038】誘電体バリア放電ランプを等価回路に表すと図5のようになる。ここで、C1とC2は、放電プラズマ空間2のコンデンサ12の静電容量C1と、誘電体5、6のコンデンサ13の静電容量C2である。また、Rは放電プラズマの抵抗に相当する。C1の初期充電電圧を $V_g$ とかくと、スイッチSW1を閉じることにより、Rで消費される全エネルギー $W1$ は、次のように求められる。

$$W1 = (1/2) \cdot (C1 + C2) \cdot V_g^2 \quad (式3)$$

なお、Rでの電力消費が完了した時点では、C1、C2の電圧 $V1$ 、 $V2$ は、

$$V1 = 0, \quad V2 = V_k \quad (式4)$$

である。(式3)の $V_g$ に(式2)を適用して、 $W1$ は次のように求められる。

※態に変化したときに、放電プラズマに与えられるエネルギー $W2$ を求めたい。

【0040】等価回路図6において、C1、C2の初期充電電圧を、前記(式4)を引用した

$$V1 = 0, \quad V2 = V_k \quad (式6)$$

とし、SW2を閉じることにより、Rで消費される全エネルギー $W2$ は、次のように求められる。

に、屈曲点Kから絶対値の極大点U5に至る間に絶対値

の極小点、すなわち、絶対値が $V_k$ より小さい点U4が存在する場合に、前記W1、W2がどのように補正されるべきかについて考える。図3から明らかなように、放電電流波形J3のピークは、ランプ印加電圧波形の屈曲点Kの時刻付近に存在する。絶対値の極小点U4の時刻においては、放電電流波形J3のピークを既に過ぎており、従って、ランプ印加電圧波形に絶対値の極小点U4\*

$$W2 = (1/2) \cdot (C2^2) / ((C1 + C2) \cdot (Vh - Vb)^2) \quad (式8)$$

ここで、 $(Vh - Vb)$ の差の絶対値を $V_y$ とする。

【0042】(式5)のW1は、前記最小エネルギーの放電の条件の放電エネルギーと、給電装置の出力インピーダンスが小さいことに起因して放電時にランプ印加電圧を屈曲点K付近に維持され、それにより誘電体5、6が形成するコンデンサ13を介して放電プラズマ空間2に流入する放電エネルギーとの和であり、言わば実用的な給電装置を実現する上で、不可避のエネルギー投入である。

【0043】これに対し、(式8)のW2は、前記放電ギャップ間隔のランプ内の位置的不均一の影響による1個のランプ内での放電の不均一を避けるためにやむを得ず投入するエネルギーである。

【0044】以上で行った放電現象の解析により、 $V_x$ と $V_y$ が本発明の課題を解決する上で重要なファクターになることが分かる。すなわち、 $V_x$ に比して $V_y$ を小さくすることが、一度放電が開始したならば、後続する放電のエネルギーはできるだけ小さくすること、という前記の条件に合致するものであり、これにより前記エキシマ分子形成に寄与しないエネルギー準位への放電プラズマの励起を抑制することができ、結果として高効率な真空紫外波長の光源が実現される。ただし、(式1)の

右辺に現れる数値は、発明者らの実験によって得られたものである。

【0045】ここで、 $V_x$ と $V_y$ についてエキシマ発光の効率について実験をした。図7にその実験結果のグラフを示す。ここで、図7の縦軸の目盛は、プロットされた点のなかで最も効率の高いものを1とする相対目盛である。プロットされた各点の共通の実験条件は次の通りである。

インバータ回路：ハーフブリッジ方式  
周波数：20、40、80 kHz  
トランス1次側インダクタンス：1.1 mH  
トランス2次側インダクタンス：63.0 mH  
トランス結合係数：0.9993  
誘電体：石英ガラス—厚さ1 mm  
放電ガス：キセノン—圧力33 kPa  
放電ギャップ：4.3 mm  
非放電時のランプ静電容量：12 pF  
実験は、1次側のインバータ回路に供給する周波数、およびDC電圧を様々に変化させ、得られたランプ印加電圧波形から $V_y/V_x$ の値を算出して横軸方向の値と

\*が存在することによる前記エネルギーW1への影響はごく僅かであり、無視してよいことがわかる。一方、ランプ印加電圧波形において、絶対値の極小点U4を過ぎてから、絶対値の極大点U5に至る間に放電プラズマに与えられるエネルギーW2は、前記初期条件(式6)において、 $V2 = Vb$ と修正すればよいから、結局、(式7)は次のように修正される。

し、また、この時に測定される紫外線光量に対する誘電体バリア放電ランプへの投入電力との比を算出して縦軸方向の値としてそれぞれの結果をプロットした。紫外線光量の測定は、蛍光体とシリコンフォトダイオードを組合わせて構成された紫外線照度センサを、窒素ガス雰囲気中でランプから一定距離に置き、検出される照度値に基づいて行った。ランプに直列に挿入したフィルムコンデンサにより、ランプ電流の積分電圧波形を発生させ、これと、ランプ印加電圧波形とから形成されるリサージュ図形の面積によって、誘電体バリア放電ランプへの投入電力を測定した。

【0046】図7から明らかなように、放電ギャップ間隔のランプ内の位置的不均一の影響を避ける等ために $V_y/V_x$ を大きくしてゆくと効率が低くなるが、 $V_y/V_x$ が1.0を超えると、効率が急激に低下し、また実現される効率の値のバラツキが増加することが見てとれる。従って、エキシマ発光の効率低下が容認可能な範囲の条件を実現するためには、 $V_y/V_x \leq 1.0$ 、望ましくは、 $V_y/V_x \leq 0.9$ とすることが必要であることがわかる。さらに、 $V_y/V_x$ が0.8以下の領域では、それ以外の領域に比して、 $V_y/V_x$ の変化に対する効率の変化率が小さく、高い効率が安定的に実現されることが見てとれる。またこの領域では、ランプ印加電圧がより小さくなり、トランス等の高電圧素子の製作、安全のための絶縁対策が容易となる利点もある。実際、図7の前記実験条件においては、80 kHzでの点灯では、 $V_y/V_x \approx 1.0$ を与えるランプ印加電圧波形が8.8 kV<sub>pp</sub>(ピークピーク間電圧)であったものが、 $V_y/V_x \approx 0.8$ を与えるランプ印加電圧波形では、6.7 kV<sub>pp</sub>に低下した。従って、工業的応用において、高効率な光源装置を低コストで実現するためには、 $V_y/V_x \leq 0.8$ とすることが有利である。さらに、 $V_y/V_x$ が0.5以下では、ほぼ常に最高に近い効率が得られ、ランプ印加電圧がさらに小さくなり、実際、図7の前記実験条件においては、80 kHzでの点灯において、 $V_y/V_x \approx 0.5$ を与えるランプ印加電圧波形では4.5 kV<sub>pp</sub>に低下した。従って、光源装置のさらなる高効率化と低コスト化を実現するためには、 $V_y/V_x \leq 0.5$ とすることがより有利であることがわかる。

【0047】ところで、(式8)と(式5)の両辺の比をとると、 $W2/W1 = (Vh - Vb)^2 / (Vk - Vf)^2$ となる。この式の右辺に対して $V_x$ 、 $V_y$ を適用

すると、 $W2/W1 = (Vy/Vx)^2$ を得る。従って、 $Vy/Vx \leq 1.0$ ということは、 $W2/W1 \leq 1.0$ となる。そして、この条件こそがエキシマ発光の効率低下が容認可能な範囲の条件であることを意味している。

【0048】なお、前記放電現象の解析の過程より明らかのように、ランプ印加電圧波形上において、ランプ印加電圧波形の放電開始時に対応する点、すなわち屈曲点Kから絶対値の極大点U5に至る間に絶対値の極小点U4が存在しない場合は、電圧Vbとしてランプ印加電圧波形の放電開始時に対応する点の電圧Vkをとればよいことがわかる。また、絶対値の極大を示す点U5が存在しない場合は、本発明の請求項1に記載の条件において電圧Vh、Vbが電圧Vkに等しいと解釈すればよい。この場合は、前記最小エネルギーの放電の条件により近づくことになるため、効率の点では理想的といえる。しかし、前記のように、放電ギャップ間隔のランプ内の位置的不均一の影響による1個のランプ内での放電の不均一が生じ易くなるため、注意して適用する方がよい。この不均一を嫌う用途の場合は、 $Vy/Vx \geq 0.1$ 、とする方が望ましい。ここで、図3に示すようなランプ電圧E(t)の波形において、正負のいずれの状態においても、 $Vx/Vy \leq 1.0$ の条件を満たせば何ら問題は生じない。しかしながら、正負のいずれかの状態においてのみ、 $Vx/Vy \leq 1.0$ の条件を満たし、他方の状態においては $Vx/Vy \leq 1.0$ の条件を満たさないような場合は、正の状態における $Vx/Vy$ の値と、負の状態における $Vx/Vy$ の値の平均値を計算し、この平均値が1.0以下という条件を満たすか否かで判断する。

【0049】なお、前記放電現象の解析のなかで、(式4)において、 $V1=0$ となることを利用したが、これは、誘電体バリア放電ランプにおいて、実際に放電ギャップ電圧が0となって放電が停止することを述べたものではなく、放電電流波形J3における最初の急峻な立上りに続く減衰期間と、放電電流波形J3の減衰の途中か\*

$$I_d(t) = F \cdot I_s(t) - C_v \cdot dE(t)/dt \quad (\text{式11})$$

【0055】この方法は、数値微分を使用するため、得られた結果の波形なかの電流値の小さい領域における精度はあまり良くないが、放電開始時は速い立上りを示すため、これを見出す目的で使用する限り問題はない。

【0056】図9、図10、図11の場合の解析条件、および実験条件は次の通りである。

C1: 35 pF

C2: 220 pF

C3: 15 pF

周波数: 30 kHz

トランス1次側インダクタンス: 1.1 mH

トランス2次側インダクタンス: 630 mH

トランス結合係数: 0.9993

誘電体: 石英ガラス-厚さ1 mm

放電ガス: キセノン-圧力33 kPa

\*ら発生する壁上がり部J4およびそれ以降の期間とに分割して放電プラズマに与えられるエネルギーを見積るための、モデル解析上のテクニックであることを付け加えておく。

【0050】なお、本発明においては誘電体のうち、放電プラズマ空間に対向する面には、その少なくとも一部に蛍光体を塗布することもできる。これにより、可視光を放射するランプとすることができる。

【0051】

10 【実施例】以下において、本発明に基づく前記のエキシマ分子形成を効率的にするための、エキシマ分子形成に寄与しないエネルギー準位への放電プラズマの励起を抑制することが達成された誘電体バリア放電ランプ光源装置の実施例について説明する。

【0052】図8は、ハーフブリッジ方式のインバータ回路を用いた誘電体バリア放電ランプの点灯回路の、簡略化して記載した回路図である。図9は、このときの誘電体バリア放電ランプ1の電圧波形E(t)と電流波形Is(t)の実測データである。図10は、図9に概ね示す区間Zの部分を拡大測定したものである。図11は、図10の波形を計算機にて解析処理して放電電流波形Id(t)を算出し、電圧波形E(t)と電流波形Is(t)とともに示したものである。

【0053】ここで、図11のように、電圧波形E(t)と電流波形Is(t)から放電電流波形Id(t)を算出する方法について説明する。

【0054】放電プラズマ空間2のコンデンサ12の静電容量C1、誘電体5、6のコンデンサ13の静電容量C2、それに誘電体バリア放電ランプに並列的に存在する浮遊静電容量C3により決まる、次の2個の係数 $F = 1 + C1/C2$  (式9)  $Cv = C1 + C3 \cdot F$  (式10)を用いれば、放電電流波形Id(t)は次式により求めることができる。

放電ギャップ: 4.3 mm

【0057】図11においては、放電電流波形Id(t)は、時刻Tdにおいて鋭く立ち上がっており、これが放電開始の瞬間であることがわかる。電圧波形E(t)上では、時刻Tdに対応して屈曲点Kを形成している。

【0058】前記Vx、Vyを算出するための電圧値Vk、Vb、Vhは図11に、Vfは図9に記載の通りである。ただし、この場合はVfは負である。この実測値を(式1)に代入すれば、 $Vy/Vx = 0.30$ となる。

【0059】次に他の実施例を示す。図12は、フルブリッジ方式のインバータ回路を用いた誘電体バリア放電ランプの点灯回路の、簡略化して記載した回路図である。図13は、このときの誘電体バリア放電ランプ1の電圧波形E(t)と電流波形Is(t)の実測データであ

13

る。図14は、図13に概ね示す区間Zの部分を実大測定したものである。図15は、図14の波形を計算機にて解析処理して放電電流波形 $I_d(t)$ を算出し、電圧波形 $E(t)$ と電流波形 $I_s(t)$ とともに示したものである。

【0060】図13、図14、図15の場合の解析条件および実験条件は、周波数が21kHzであること以外は、前記図9、図10、図11の場合の解析条件および実験条件と同様である。なお、図11の時刻 $T_{a1}$ 付近においては、電圧波形 $E(t)$ 、電流波形 $I_s(t)$ ともに大きい振幅を有しているが、放電電流波形 $I_d(t)$ には有意な振幅が存在せず、従って、この実験条件では、時刻 $T_{a1}$ 付近では放電が生じていないことを示している。同様波形の点灯であっても、条件によっては、これに対応する部分で放電が生ずる場合もある。

【0061】図15においては、放電電流波形 $I_d(t)$ は、時刻 $T_d$ において鋭く立ち上がっており、これが放電開始の瞬間であることがわかる。電圧波形 $E(t)$ 上では、時刻 $T_d$ に対応して屈曲点 $K$ を形成している。

【0062】前記 $V_x$ 、 $V_y$ を算出するための電圧値 $V_k$ 、 $V_b$ 、 $V_h$ は図11に、 $V_f$ は図13に記載の通りである。ただし、この場合は $V_f$ は負である。この実測値を(式1)に代入すれば、 $V_y/V_x = 0.18$ となる。

【0063】次にさらなる他の実施例を示す。図16は、フライバック方式のインバータ回路を用いた誘電体バリア放電ランプの点灯回路の、簡略化して記載した回路図である。図17は、このときの誘電体バリア放電ランプ1の電圧波形 $E(t)$ と電流波形 $I_s(t)$ の実測データである。図18は、図17に概ね示す区間Zの部分を実大測定したものである。図19は、図18の波形を計算機にて解析処理して放電電流波形 $I_d(t)$ を算出し、電圧波形 $E(t)$ と電流波形 $I_s(t)$ とともに示したものである。

【0064】図17、図18、図19の場合の解析条件、および実験条件は次の通りである。

C1: 35 pF

C2: 220 pF

C3: 15 pF

周波数: 36 kHz

トランス1次側インダクタンス: 33  $\mu$ H

トランス2次側インダクタンス: 6.1 mH

トランス結合係数: 0.9930

誘電体: 石英ガラス-厚さ1 mm

放電ガス: キセノン-圧力33 kPa

放電ギャップ: 4.3 mm

【0065】図19においては、放電電流波形 $I_d(t)$ は、時刻 $T_{d1}$ および時刻 $T_{d2}$ の2点において鋭く立ち上がっており、従って、これらの瞬間において放電開始が発生していることがわかる。電圧波形 $E(t)$ 上では、時刻 $T_{d1}$ および時刻 $T_{d2}$ に対応してそれぞれ屈曲点 $K1$ および屈曲点 $K2$ を形成している。2箇所の屈曲点のうち、屈曲点 $K2$ は比較的わかりにくい。時刻 $T_{d2}$ における放電電流波形 $I_d(t)$ の立ち上がり方が急峻であることにより判別が可能となる。電圧波形 $E(t)$ をさらに注意して見ると、時刻 $T_{d3}$ および時刻 $T_{d4}$ においても、屈曲点 $K2$ と類似の屈曲点 $K3$ 、屈曲点 $K4$ が見られ、放電電流波形 $I_d(t)$ からもこれらを放電開始と判断できる。

【0066】本発明の請求項1に記載の条件に基づいて $V_y/V_x$ の値を計算する場合は、図19に従い、時刻 $T_{d1}$ にて開始した放電に関しては、 $V_f = V_{k4}$ 、 $V_k = V_{k1}$ 、 $V_b = V_{b1}$ 、 $V_h = V_{h1}$ として計算すればよい。同様に、時刻 $T_{d2}$ にて開始した放電に関しては、 $V_f = V_{h1}$ 、 $V_k = V_{k2}$ 、 $V_b = V_{k2}$ 、 $V_h = V_{h2}$ として計算すればよい。また、時刻 $T_{d3}$ にて開始した放電に関しては、 $V_f = V_{h2}$ 、 $V_k = 0$ 、 $V_b = 0$ 、 $V_h = V_{h3}$ として計算すればよい。さらに、時刻 $T_{d4}$ にて開始した放電に関しては、 $V_f = V_{h3}$ 、 $V_k = V_{k4}$ 、 $V_b = V_{k4}$ 、 $V_h = V_{k4}$ として計算すればよい。しかし、これら4箇所の放電それぞれの、全体に対する寄与を、放電電流波形 $I_d(t)$ と $I_d = 0$ の直線が囲む面積から判断すれば、実質的に効率を支配している主たる放電は、時刻 $T_{d2}$ にて開始した放電であるから、これ以外のものは無視してよく、従って、この波形全体について、 $V_y/V_x = 0.32$ となる。

【0067】

【発明の効果】本発明の誘電体バリア放電ランプ光源装置は、給電装置(7)が昇圧トランス(8)を介して前記誘電体バリア放電ランプ(1)に概略周期的な波形の高電圧を印加して、このとき、ランプ印加電圧波形の放電開始時に対応する点(K)に注目したとき、前記ランプ印加電圧波形の放電開始時に対応する点(K)の電圧 $V_k$ と前記ランプ印加電圧波形の放電開始時に対応する点(K)が属する放電より一つ前の放電についての放電終了時のランプ印加電圧 $V_f$ と、前記ランプ印加電圧波形の放電開始時に対応する点(K)を通過時点から次にランプ印加電圧の極性が変化するまでの期間内でランプ印加電圧の絶対値の極大を示す点(U5)におけるランプ印加電圧 $V_h$ と、前記ランプ印加電圧波形の放電開始時に対応する点(K)から前記ランプ印加電圧の絶対値の極大を示す点(U5)に至る閉区間のなかで絶対値が最小となるランプ印加電圧波形上の点(U4)におけるランプ印加電圧 $V_b$ とについて、前記 $V_k$ と $V_f$ の差 $V_k - V_f$ の絶対値 $V_x$ と、前記 $V_h$ と $V_b$ の差 $V_h - V_b$ の絶対値 $V_y$ との関係に関して、 $V_y/V_x \leq 1.0$ を満足するようにしたので、実現可能な小さい出力インピーダンスを有する給電装置を使って、誘電体バリア放電ランプの全壁面において均一に放電を生じさせるため



に、放電を生じさせる最小のエネルギーよりもランプ印加電圧を高くし、しかも、ランプ印加電圧を高くしたことによるエキシマ発光の効率低下が容認可能な程度をすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】2枚の誘電体5、6が存在する誘電体バリア放電ランプを示す。

【図2】誘電体バリア放電ランプ1の電気回路的な動作を表す等価回路を示す。

【図3】典型的なランプ印加電圧、放電ギャップ電圧、放電電流の波形を示す。

【図4】モデル化したランプ印加電圧波形を示す。

【図5】誘電体バリア放電ランプの放電を解析するための等価回路を示す。

【図6】誘電体バリア放電ランプの放電を解析するための等価回路を示す。

【図7】 $V_y/V_x$ と効率の関係を示す実験データを示す。

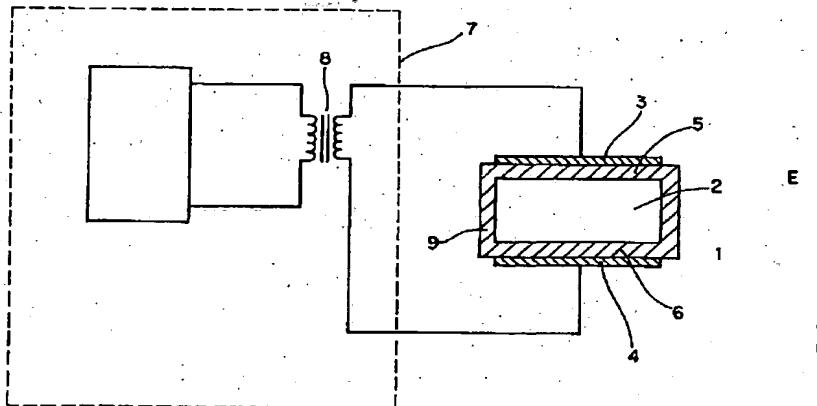
【図8】ハーフブリッジインバータを用いた誘電体バリア放電ランプの点灯回路を示す。

【図9】電圧波形 $E(t)$ と電流波形 $I_s(t)$ の実測データを示す。

【図10】電圧波形 $E(t)$ と電流波形 $I_s(t)$ の実測データを示す。

【図11】計算機にて解析処理した波形データを示す。\*

【図1】



\*【図12】フルブリッジインバータを用いた誘電体バリア放電ランプの点灯回路を示す。

【図13】電圧波形 $E(t)$ と電流波形 $I_s(t)$ の実測データを示す。

【図14】電圧波形 $E(t)$ と電流波形 $I_s(t)$ の実測データを示す。

【図15】計算機にて解析処理した波形データを示す。

【図16】フライバックインバータを用いた誘電体バリア放電ランプの点灯回路を示す。

【図17】電圧波形 $E(t)$ と電流波形 $I_s(t)$ の実測データを示す。

【図18】電圧波形 $E(t)$ と電流波形 $I_s(t)$ の実測データを示す。

【図19】計算機にて解析処理した波形データを示す。

【符号の説明】

1：誘電体バリア放電ランプ

2：放電プラズマ空間

3、4：電極

5、6：誘電体

7：給電装置

8：昇圧トランス

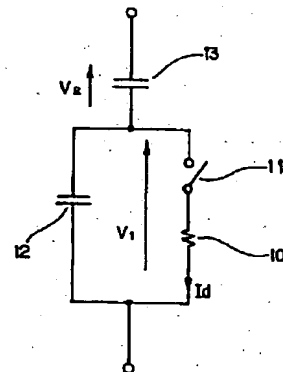
9：ランプ封体

10：抵抗

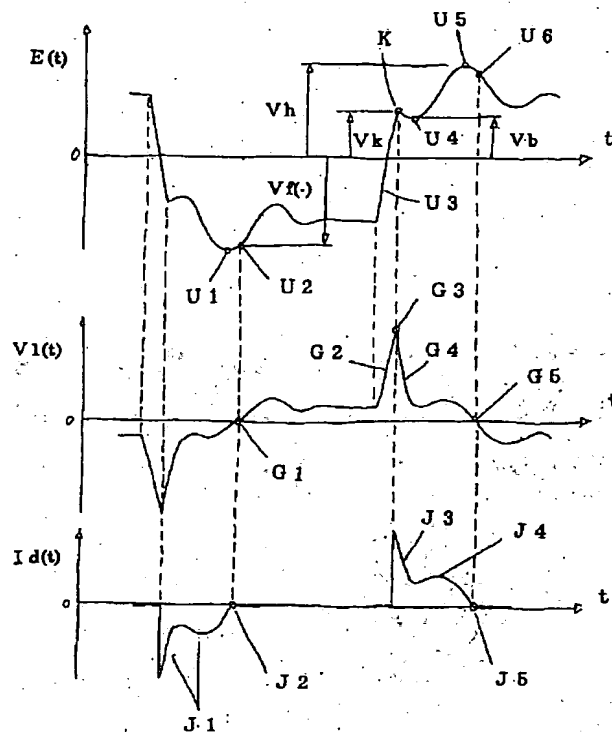
11：スイッチ

12：コンデンサ

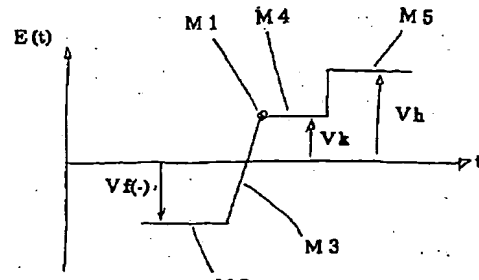
【図2】



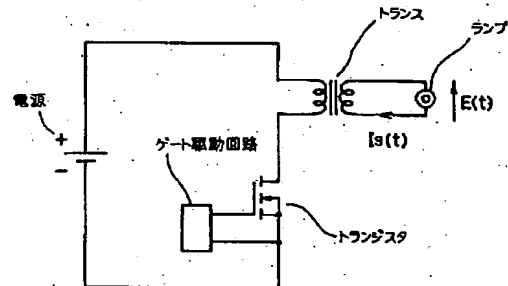
【図3】



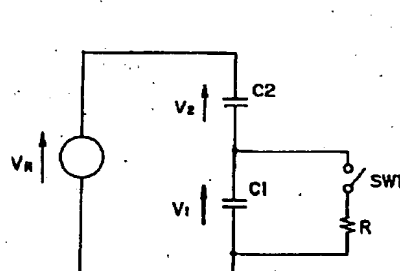
【図4】



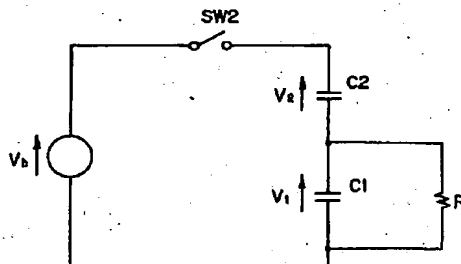
【図16】



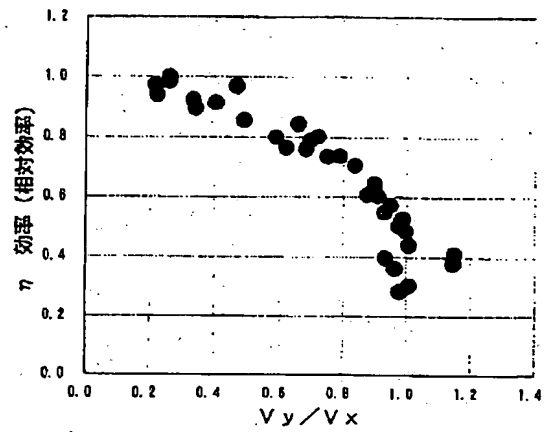
【図5】



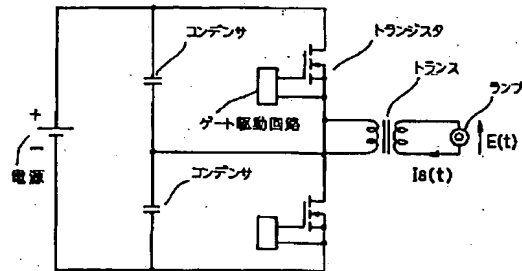
【図6】



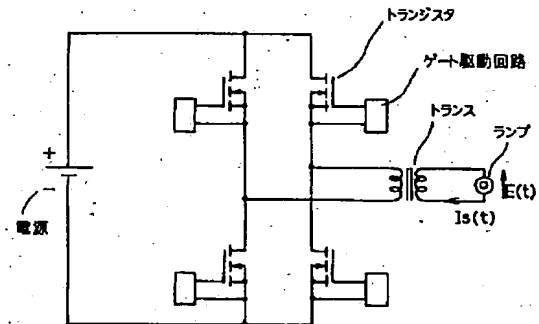
【図7】



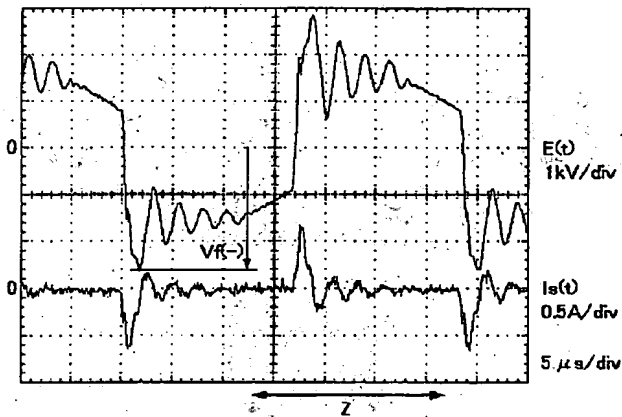
【図8】



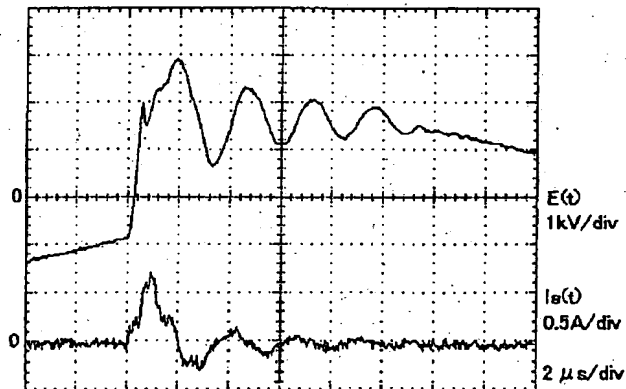
【図12】



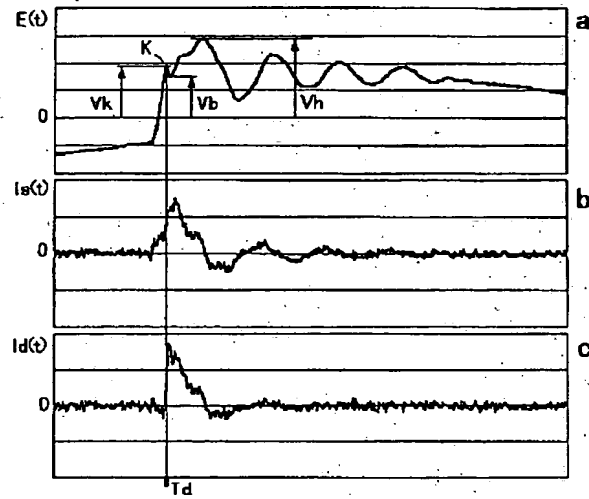
【図9】



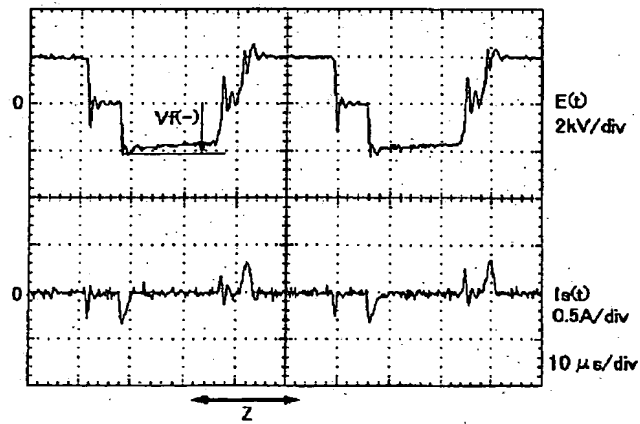
【図10】



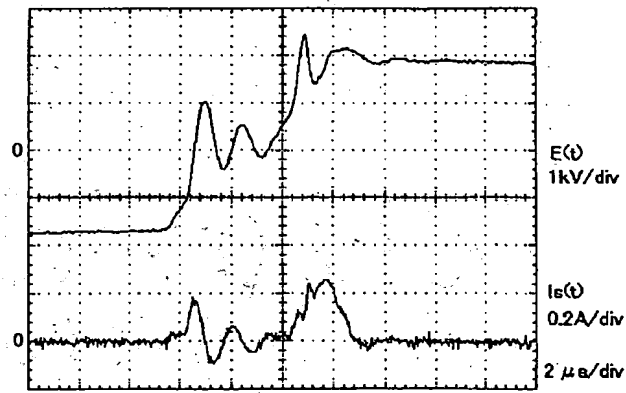
【図11】



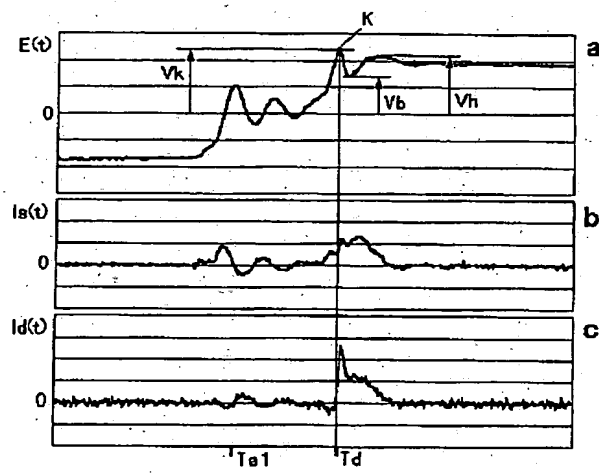
【図13】



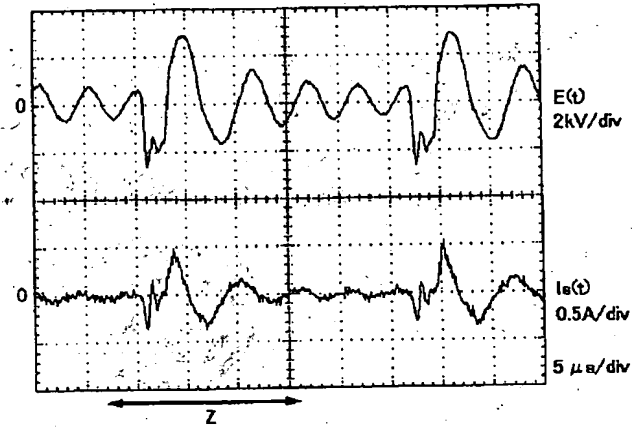
【図14】



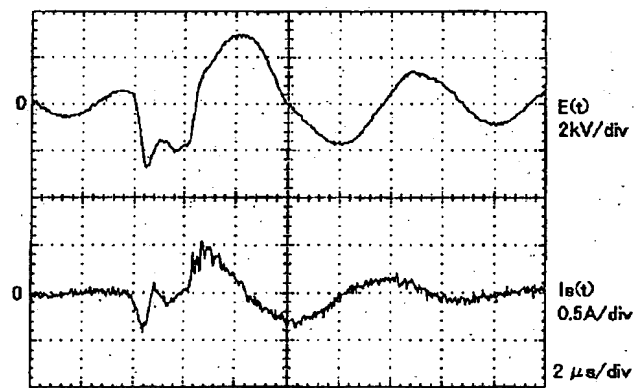
【図15】



【図17】



【図18】



【図19】

